E/CONF.39/A/386
5 Dec.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.3.4.1

France

L'ECONOMIE DE L'EAU :
LA LUTTE CONTRE L'EVAPORATION
DES NAPPES D'EAU LIBRE
DANS LES REGIONS ARIDES ET SUB-ARIDES,
EMPLOI DES GRANULES DE "STYROPOR"

Par Georges DROUHIN,
Ingénieur général des Ponts et Chaussées,
Président du Groupement de Recherches
pour l'Application de la Chimie des Eaux (GRACE),
Edgar GENET,
Ingénieur-chimiste,
Maître de Recherches de l'Institut National
de la Recherche Agronomique,
Secrétaire du GRACE,
Marguerite RICHARD,
Docteur ès Sciences,
Directeur de Recherches de l'Institut National
de la Recherche Agronomique,
et Roger ROHMER,
Licencié ès Sciences,
Chercheur au GRACE

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

L'ECONOMIE DE L'EAU

La lutte contre l'évaporation des nappes d'eau libre dans les régions arides et sub-arides

Emploi des granules de "Styropor"

Par Georges DROUHIN, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, Président du Groupement de Recherches pour l'Application de la Chimie des Eaux (GRACE),

Edgar GENET, Ingénieur-Chimiste, Maitre de Recherches de l'Institut National de la Recherche Agronomique, Secrétaire du GRACE,

Marguerite RICHARD, Docteur ès-Sciences, Directeur de Recherches de l'Institut National de la Recherche Agronomique,

Roger ROHMER, Licencié ès-Sciences, Chercheur au GRACE

La croissance rapide de la population dans le monde, le développement accéléré de l'industrialisation dans de nombreux pays, l'accroissement constant de la surface des terres irriguées, (on en comptait 90 millions d'ha dans le monde en 1956), l'augmentation de la consommation d'eau individuelle, conséquence de l'amélioration des conditions de vie, ont pour résultat essentiel de faire croître dans d'énormes proportions les besoins en eau.

Devant ces besoins toujours plus grands, l'eau se fait de plus en plus rare et, face à la pénurie qui menace, il s'agit de découvrir de nouvelles ressources, d'utiliser de la manière la plus rationnelle possible celles dont nous disposons, d'en réduire au minimum le gaspillage, d'en éviter les pertes et d'en assurer le recyclage et la récupération.

Un des facteurs les plus importants de gaspillage et de perte est l'évaporation, elle même conditionnée par les températures de l'eau et de l'air, la turbulence et le degré d'humidité de l'air en contact avec la surface de l'eau.

Sous les climats chauds et secs, les pertes dans les systèmes de stockage et de distribution sont telles qu'une grande partie disparaît avant d'arriver à son point d'utilisation.

Comme c'est une grandeur qui échappe à l'observation immédiate, on ne se rend pas toujours compte de son importance réelle.

De plus, si les eaux usées industrielles peuvent, la plupart du temps être réutilisées au prix d'un traitement d'ailleurs plus ou moins onéreux, la perte par évaporation est définitive et fait sentir ses effets même dans les pays humides.

Les lacs naturels ou artificiels (barrages, réservoirs) qui constituent des réserves importantes d'eau, ont l'inconvénient de présenter une surface considérable à l'évaporation.

L'évaporation entraîne en outre une détérioration de la qualité de l'eau par la concentration de sels qui en résulte.

Les quelques chiffres suivants donneront une idée de l'importance du phénomène d'évaporation dans le monde.

En Tchécoslovaquie, les valeurs moyennes suivantes ont été relevées de 1956 à 1959.

Mois	Evaporation en mm
Avril.....	53
Mai	77
Juin.....	97
Juillet	89
Août.....	79
Septembre.....	57
Octobre	23

En Guinée britannique, l'évaporation annuelle s'élève à 140 cm.

A Burma, on estime que 110 à 150 cm d'eau sont perdus annuellement par évaporation dans les lacs, réservoirs, étangs..., la moitié de ces pertes s'effectuant en mars, avril, mai.

En Inde, dont le territoire s'étend en partie zone tropicale et en partie en zone subtropicale, l'évaporation peut atteindre en certaines régions 380 cm.

En Australie, l'évaporation qui s'élève à 254 cm sur la plus grande partie du territoire, dépasse nettement la pluviométrie sur les surfaces libres d'eau.

Au Japon, l'évaporation oscille entre 150 à 200 cm par an.

Dans la République Arabe Unie, sur les $5,3 \times 10^9$ m^3 stockés annuellement au barrage d'Assouan, 5×10^8 m^3 sont perdus par évaporation, tandis qu'au barrage Gabel Aulia, sur le Nil Blanc, près de Khartoum, d'une capacité de $5,5 \times 10^9$ m^3, environ $2,5 \times 10^9$ m^3 le sont également.

En Algérie, la tranche d'eau évaporée annuellement est presque toujours supérieure à la quantité de pluie tombée sur la même surface. Elle varie de 937 mm à Alger à 3.293 mm à Beni-Ounif, dans le Sahara occidental.

La lutte contre l'évaporation.-

Pour éviter, ou tout au moins diminuer les pertes, il suffirait de supprimer le contact direct de l'air et de l'eau. Dans cette perspective, on peut songer à stocker l'eau dans les réservoirs souterrains mais d'une part la vitesse d'infiltration est en général très faible, et d'autre part d'importantes pertes sont à craindre.

Un autre moyen de supprimer le contact de l'air et de l'eau est de répandre à la surface de celle-ci un produit susceptible de s'étaler en couche mince mono-ou multimoléculaire.

Cette propriété est commune à de nombreux produits solides ou liquides. Dès 1923, RIDEALS avançait que de telles substances étalées en couche monomoléculaire permettaient de réduire sensiblement l'évaporation d'une surface d'eau.

Plus tard, MANSFIELD démontra que les couches monomoléculaires se révélaient plus efficaces que les couches multimoléculaires dans la réduction de l'évaporation.

La propriété pour certains alcools, cétylique ou stéarique, de former des couches monomoléculaires provient de ce que chacune de leurs molécules est formée d'une chaîne hydrophile et d'une chaîne hydrophobe. Ainsi, lorsqu'une de ces molécules est mise en contact avec l'eau, l'attraction entre le groupe hydroxyle de la molécule et l'eau étant plus élevée que la force de cohésion des molécules d'alcool, celles-ci se séparent et ont tendance à former une couche très mince de molécules orientées.

Cette propriété dépend donc avant tout des forces de cohésion entre les molécules. Lorsque ces forces sont faibles, les molécules ont tendance à se déplacer à la surface de l'eau indépendamment les unes des autres et la cohésion est faible.

Par contre, lersque ces forces sont élevées, les molécules ont tendance à former une couche monomoléculaire cohérente et dans

ce cas, cette couche glisse à la surface de l'eau à la manière d'un liquide.

A l'état d'équilibre, la chaîne hydrophile plonge dans l'eau, et la chaîne hydrophobe se dresse hors de l'eau; dans ce cas, la couche monomoléculaire offre au passage de la vapeur d'eau une grande résistance tout en permettant le passage de l'oxygène et du gaz carbonique.

De nombreux composés organiques ont été étudiés à cet effet, mais c'est sur l'hexadécanol qu'ont été effectuées les principales recherches.

L'hexadécanol (ou alcool cétylique) de formule $CH^3(CH_2)^{14}CH^2OH$ est un solide blanc, gras au toucher, de point de fusion 45-51°, vendu sous forme de perles, de grains ou de plaques.

En contact avec l'eau, les radicaux OH de l'hexadécanol sont attirés par elle, les radicaux CH^2 étant tournés vers l'extérieur, l'étalement de l'alcool produit un film jusqu'à ce que la tension superficielle atteigne une valeur d'équilibre à partir de laquelle la dispersion cesse; cette tension superficielle est de l'ordre de 40 dynes/cm.

D'après MANSFIED, la vitesse à laquelle s'étale une couche d'hexadécanol est de $1,01 \times 10^{14}$ molécules par cm et par seconde, et le nombre de molécules nécessaires pour former un film est de $5,14 \times 10^{14}$ molécules par cm^2; on peut évaluer cette vitesse d'une façon différente, on trouve alors qu'elle est de 20 à 30 cm/s à 20°.

L'hexadécanol commercial contient d'autres alcools : tétradécanol, dodécanol, acides gras, qui gênent ou améliorent plus ou moins les performances de l'hexadécanol.

L'hexadécanol le plus efficace est fabriqué en Australie sous le nom de Si-Ro-Seal, sa composition est la suivante:

hexadécanol.....	80%
octadécanol.....	10%
tétradécanol et dodécanol...	5%
alcools non saturés.....	4%

Des études effectuées en Australie et aux U.S.A. ont montré que la résistance au passage de la vapeur d'eau augmente avec la longueur de la chaîne hydrocarbonée.

Par contre, la vitesse de formation de la couche monomoléculaire, qui dépend évidemment de la température, augmente quand la longueur de la chaîne diminue.

Les facteurs qui entrent en ligne de compte dans le choix d'un alcool gras sont :

- La vitesse de formation de la couche monomoléculaire

Elle dépend de la composition de l'alcool; on peut augmenter cette vitesse en ajoutant de petites quantités d'acide oléique (jusqu'à 10%). L'alcool en poudre donne une très bonne dispersion.

- La résistance du film à différents facteurs: insolation, vent, poussière, matières organiques.

La résistance du film à l'évaporation qui s'exprime en $g/cm^2/s$ et qui dépend de la composition de la molécule; l'addition d'agents tensio-actifs diminue cette résistance.

Le vent agit de plusieurs façons sur la couche monomoléculaire. D'une part, par son effet de refroidissement, il contrebalance l'action de la couche monomoléculaire qui provoque l'augmentation de la température de l'eau sur la couche elle-même et par suite une augmentation de la tension de la vapeur. D'autre part, il a une action néfaste sur le film; en effet les vagues ont tendance à augmenter la surface de l'eau en contact avec l'air et par conséquence à diminuer la tension superficielle de la couche monomoléculaire, cette tension peut tomber de 40 dynes/cm à environ 10 dynes/cm.

- Le pouvoir de rétablissement de la couche monomoléculaire après destruction par divers facteurs.

Un vent violent détruit la couche monomoléculaire; le pouvoir de rétablissement dépend de la nature de l'alcool ou des mélanges d'alcool utilisés.

On a constaté que les films formés à partir d'alcool en solution se rétablissent baucoup moins bien que ceux obtenus à partir d'alcool en poudre. Par contre, l'acide oléique favorise le rétablissement après destruction.

- Action de la couche sur la diffusibilité de l'oxygène de l'air dans l'eau.

Des mesures précises ont montré que l'hexadécanol provoque une légère diminution de la teneur en oxygène de l'eau. D'après nos essais, cette diminution serait de l'ordre de 12%. Il ne semble pas toutefois que cette diminution ait une influence néfaste pour la flore ou la faune aquatique.

L'efficacité d'un film dépend de son maintien à l'état liquide avec la tension superficielle maximale. C'est pourquoi les poussières, les matières organiques, les algues, qui ont tendance à "solidifier" le film, ont un effet néfaste sur lui.

- Toxicité.

Des études systématiques ont été faites en Australie et aux U.S.A. sur la toxicité de l'alcool cétylique vis-à-vis des poissons, des plantes aquatiques, du gibier d'eau; il semble que l'hexadécanol favorise le développement des bactéries telles que Pseudomonas et les flavobactéries; aucun effet n'a été observé sur les poissons, et les larves de moustiques ne sont aucunement affectées par la couche d'hexadécanol.

Jusqu'à ces temps derniers, ce sont surtout les Américains et les Australiens qui se sont intéressés au problème de la réduction de l'évaporation à l'aide d'hexadécanol. Au cours de ces dernières années, des essais ont été entrepris en Algérie, sous l'égide du Groupement de Recherche pour l'Application de la Chimie des Eaux (GRACE), d'une part en laboratoire, d'autre part à l'air libre sur des bacs de faibles dimensions et sur des bassins de 100 m^2. Les résultats n'ont pas été très encourageants. En effet, les gains sont très faibles, et l'économie réalisée n'est pas en rapport avec le prix de revient (achat du produit et main-d'oeuvre). On ne peut compter en définitive que sur une réduction de l'évaporation de 1 à 2%.

En outre, même sur une surface relativement faible, l'action du vent est néfaste sur le film.

L'efficacité de la protection semble diminuer à mesure que la surface à protéger augmente. Très bonne sur des béchers de laboratoire, elle est médiocre sur les bacs et négligeable sur les bassins.

Pour expliquer ces différences, on peut invoquer le recouvrement incomplet de la surface, donc un mauvais étalement de la couche monomoléculaire. Il est possible que ce défaut provienne de la qualité de l'hexadécanol employé (produit fabriqué en France). C'est sans doute pour cette raison que les résultats obtenus en Algérie sont moins bons que ceux annoncés par les Américains et les Australiens.

Après une période d'essais de 15 mois, on peut cependant conclure que le recouvrement d'un plan d'eau par l'hexadécanol est sans effet sur la faune aquatique. Par contre, ce traitement favorise le développement des bactéries et la croissance des algues dans le réservoir.

Mais il existe un autre moyen, depuis longtemps connu dans l'industrie, de lutter contre l'évaporation, c'est le recouvrement de la surface du liquide à protéger par une couche de petites sphères creuses en matières plastique.

Ce procédé se montre extrêmement efficace dans la lutte contre l'évaporation dans les réservoirs d'essence.

Appliqué à l'eau, il semble devoir apporter une aide sérieuse dans la lutte contre l'évaporation.

Le matériau utilisé est le "Styropor", polystyrène expansible utilisé dans la fabrication des matériaux légers. D'après nos essais préliminaires, ce polystyrène est un produit remarquablement résistant au vieillissement, à l'eau, à la moisissure, aux agents chimiques, et d'une très bonne imperméabilité à la vapeur d'eau.

Il peut être aisément transformé en matériau cellulaire de poids spécifique variable; le volume est constitué par 97 à 98 % d'air, ce qui explique ses exceptionnelles propriétés isolantes.

Comme pour l'hexadécanol, les essais ont été effectués au laboratoire, sur des bacs de 0,70 m^2 et sur des bassins de 100 m^2.

Essais au Styropor.-

Essais en Laboratoire -

L'étude a été effectuée en utilisant des béchers d'un litre de capacité, de 78 cm^2 de section droite, placés dans une étuve et pesés périodiquement et avec deux qualités de Styropor, de densités différentes.

Bécher n° 1. Surface de l'eau en contact direct avec l'air.

Bécher n° 2. Surface de l'eau recouverte par une plaque de Styropor.

Bécher n° 3. Surface de l'eau recouverte par une couche de 10 mm de perles de Styropor (densité apparente 180 g/l).

Bécher n° 4. Surface de l'eau recouverte par une couche de 10 mm de perles de Styropor (densité apparente 290 g/l).

Ces essais, d'une durée d'un mois, ont été effectués aux températures 30°, 43°, 66°, 75°, et sont résumés dans le tableau suivant :

Température 30°C	% d'eau économisée
dans Bécher n° 2	49,4
- n° 3	44,2
- n° 4	43,2

Température 43°C	% d'eau économisée
dans Bécher n° 2	77,7
- n° 3	69,7
- n° 4	69,0
Température 66°C	**% d'eau économisée**
dans Bécher n° 2	71,8
- n° 3	70,2
- n° 4	70,0
Température 75°C	**% d'eau économisée**
dans Bécher n° 3	64,1
- n° 4	70,8

Pour étudier l'influence de l'épaisseur de la couche de Styropor, les mêmes essais ont été effectués en recouvrant la surface de l'eau de perles de Styropor en couches de 20 et 30 mm d'épaisseur.

Dispositif d'essai

Bécher n° 1. Surface de l'eau en contact avec l'air.

- n° 2. Surface de l'eau recouverte par une couche de 20 mm de Styropor à 180 g/l.
- n° 3. Surface de l'eau recouverte par une couche de 30 mm de Styropor à 180 g/l.
- n° 4. Surface de l'eau recouverte par une couche de 20 mm de Styropor à 290 g/l.
- n° 5. Surface de l'eau recouverte par une couche de 30 mm de Styropor à 290 g/l.

Les résultats de ces essais sont résumés ci-après.

Température 30°C	% d'eau économisée
dans Bécher n° 2	45,3
- n° 3	46,9
- n° 4	45,2
- n° 5	46,3
Température 43°C	**% d'eau économisée**
dans Bécher n° 2	70,7
- n° 3	72,5
- n° 4	70,6
- n° 5	71,4
Température 66°C	**% d'eau économisée**
dans Bécher n° 2	72,2
- n° 3	73,4
- n° 4	71,7
- n° 5	72,9
Température 75°C	**% d'eau économisée**
dans Bécher n° 2	72,2
- n° 3	75,8
- n° 4	71,5
- n° 5	75,5

Dans ces essais effectués en étuve, en atmosphère immobile, seule la température intervient dans le processus d'évaporation. Un facteur important de ce phénomène étant le renouvellement de l'air à la surface de l'eau, pour en tenir compte les essais suivants ont été effectués à l'air libre.

Bécher n° 1. Surface de l'eau en contact direct avec l'air.

- n° 2. Surface de l'eau recouverte d'une couche de 10 mm de Styropor à 290 g/l.
- n° 3. Surface de l'eau recouverte d'une couche de 20 mm de Styropor à 290 g/l.
- n° 4. Surface de l'eau recouverte d'une couche de 30 mm de Styropor à 290 g/l.
- n° 5. Surface de l'eau recouverte d'une couche de 10 mm de Styropor à 180 g/l.
- n° 6. Surface de l'eau recouverte d'une couche de 20 mm de Styropor à 180 g/l.
- n° 7. Surface de l'eau recouverte d'une couche de 30 mm de Styropor à 180 g/l.

Les résultats obtenus sont résumés ci-après.

Pourcentage moyen d'eau économisée par la couverture de la surface :

dans le Bécher	n° 2..	61,5 %
-	n° 3..	63,3 %
-	n° 4..	63,8 %
-	n° 5..	56,0 %
-	n° 6..	57,0 %
-	n° 7..	58,5 %

On peut tirer de ces essais les conclusions suivantes:

- A température sensiblement égale, l'économie d'eau réalisée est plus élevée à l'air libre qu'en étuve.
- L'augmentation de l'épaisseur de la couche améliore légèrement le rendement.
- Le matériau le plus lourd semble donner les meilleurs résultats.

Essais sur bacs de 70 m^2 -

De même que pour l'hexadécanol, des essais ont été entrepris avec le Styropor sur des bacs de 0,70 m^2. Un bac a été recouvert par une couche de 10 mm de Styropor à 290 g/l.

Du 14 février 1960 au 30 juin 1960, les résultats suivants ont été obtenus.

Bac témoin; évapore 425 litres en 135 jours,
soit e = 2,2 mm/jour.

Bac recouvert de Styropor; évapore 67 litres en 135 jours,
soit e = 0,34mm/jour.

Le gain est de 84 %. Ce résultat est vraiment remarquable. La tenue au vent du matériau semble être satisfaisante. La couverture, repoussée par un vent assez fort, reprend sa position lorsque le vent diminue.

De plus, le produit ne semble pas être éparpillé par le vent, car dès qu'il est répandu sur l'eau, les perles de Styropor se recouvrent d'une légère pellicule d'eau et l'ensemble acquiert une certaine homogénéité.

Essais effectués sur bassins de 100 m^2 -

Devant le peu de succès de nos essais effectués avec l'hexadécanol à Relizane (Vallée du Chélif), ceux-ci ont été abandonnés, et l'un des bassins a été recouvert par une couche de 10 mm de Styropor à 290 g/l.

Les essais ont donné les résultats suivants:

Bassin A témoin; évapore 44.610 litres en 85 jours,
soit e = 5,2 mm/jour.

Bassin B traité; évapore 24.090 litres en 85 jours,
soit e = 2,8 mm/jour.

soit un gain de 54 %.

A l'échelle d'un bassin de 100 m^2, le vent ne semble pas avoir une grande influence sur la couche de protection; lorsqu'il est assez fort, celle-ci est légèrement comprimée contre les parois du bassin face au vent, mais toutefois, le bassin reste couvert par une légère couche assurant quand même la protection au moment où sous l'action du vent l'évaporation est nettement activée.

Lorsque le vent cesse ou diminue d'intensité, la couche se remet en place d'elle-même et assure la pleine efficacité de la protection.

Il y a évidemment une précaution à prendre, c'est d'éviter de répandre le Styropor par un jour de vent, car le produit avant d'être mouillé est très léger; il est recommandé de l'humecter avant de le répandre.

Les résultats ainsi obtenus expérimentalement paraissent encourageants, et bien plus probants que ceux fournis par l'emploi de l'hexadécanol. Une économie de 54 % a été obtenue. Il faudrait poursuivre les essais sur de grandes surfaces et étudier le comportement du produit au vent.

Le Styropor présente encore d'autres qualités: sa résistance vis-à-vis de l'eau et des microorganismes, son absence

d'odeur, sa couleur blanche qui réfléchit les radiations solaires et permet un contrôle facile de la continuité de la couverture. Il suffit d'étaler une fois pour toutes le produit sur la surface à protéger, et il n'est pas nécessaire de procéder, comme avec l'hexadécanol, à une distribution continue ou discontinue ou à des vérifications, peu aisées, de la présence du film.

Dans les régions arides ou sub-arides, où l'intensité de l'évaporation interdit souvent la construction de réserves d'eau qui deviendraient facilement "autophages", l'emploi de ce moyen de protection, aisément maniable, devrait faire l'objet d'études et d'expérimentations plus poussées, afin de parvenir à une juste appréciation de l'économie du projet.

1856 F - Dec. 1962 - 1,000